Efektivitas Uji Kontaminan Melalui Peluruhan Gas CO₂ Terhadap Ruang HCU Isolasi *Airborne* di RSPI Prof. Dr. Sulianti Saroso

Effectiveness of Contaminant Test Through CO₂ Gas Decay Against HCU Airborne Isolation Room at RSPI Prof. Dr. Sulianti Saroso

Titi Sundari^{*}, Vivi Lisdawati, Jahiroh, Ehwan Zunaidi, Deki Indrawanto, Farida Murtiani, Maya Marinda Montain, Temmasonge Radi Pakki, Rita Rogayah

RSPI Prof. Dr. Sulianti Saroso, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia

*Korespondensi Penulis:

Titi Sundari

Email: tt sundari@yahoo.com

Abstrak

Latar belakang: Kualitas udara ruang isolasi dapat diketahui melalui pengujian sistem tata udara, salah satunya menggunakan gas karbon dioksida (CO2) yang diasumsikan sebagai kontaminan udara. Waktu yang dibutuhkan untuk meluruhkan konsentrasi CO2 sebesar 6000 ppm pada suatu ruang tertutup dengan luas maksimal 46 m² (500 ft2) adalah 15-20 menit dengan pertukaran udara sebesar 12 ACH. Tujuan studi ini untuk mengetahui besaran tingkat pembersihan kontaminan udara, pergantian udara serta efektivitas ventilasi, filterasi dan resirkulasi udara pada ruang isolasi *airborne* melalui metode peluruhan CO2. **Metode:** Uji eksperimental terhadap ruang HCU isolasi *airborne* di RSPI Prof. Dr. Sulianti Saroso pada bulan Oktober 2017 menggunakan gas CO2 yang disemburkan sejumlah 5127 ppm. Hasil dibaca oleh alat pengukur emitter dalam tiap 30 detik selama 30 menit atau sampai nilai konsentrasi CO2 awal (*baseline*) tercapai. Algoritma konsentrasi CO2 dianalisis regresi linier. **Hasil:** Waktu yang dibutuhkan untuk meluruhkan konsentrasi CO2 dari 5127 ppm menjadi besaran konsentrasi semula/baseline sebesar 51 ppm adalah 27 menit (0,4 jam). Pergantian udara sebesar 10,1 ACH. Efektivitas ventilasi dan filterasi udara di ruang HCU sejumlah 84.16%. Persamaan garis regresi yang dihasilkan (Algoritma peluruhan CO2) Y = 8.332 -10.067X . **Kesimpulan:** Besaran tingkat pembersihan kontaminan udara di ruang HCU isolasi *airborne* RSPI Prof. Dr. Sulianti Saroso menunjukkan hasil yang cukup baik dengan durasi pembuangan berkisar 27 menit dan pergantian udara sebesar 10,01 ACH, yang berarti bahwa efektivitas ventilasi, filterasi dan resirkulasi udara di ruang HCU sebesar 84,16%.

Kata kunci: isolasi airborne, peluruhan gas CO2, efektivitas tata udara

Abstract

Background: The air quality of the isolation room can be known through testing the air system, one of which uses carbon dioxide gas (CO₂) which is assumed to be an air contaminant. The time needed to shed CO₂ concentrations of 6000 ppm in a closed space with a maximum area of 46 m2 (500 ft2) is 15-20 minutes with air exchange of 12 ACH. The purpose of this study was to determine the effectiveness of ventilation, filtration and air recirculation in airborne isolation rooms through CO₂ decay methods. **Method**: Experimental test on HCU room airborne isolation at RSPI Prof. Dr. Sulianti Saroso in October 2017 used CO₂ gas which was sprayed with 5127 ppm. The results are read by an emitter meter in 30 seconds for 30 minutes or until the initial CO₂ concentration value (baseline) is reached. The CO₂ concentration algorithm is analyzed by linear regression. **Results**: The time needed to shed CO₂ concentrations from 5127 ppm to the original/baseline concentration of 51 ppm was 27 minutes (0.4 hours). Air change of 10.1 ACH. The effectiveness of ventilation and air filtration in the HCU room is 84.16%. The resulting regression line equation (CO₂ decay algorithm) Y = 8.332 -10.067X. **Conclusion**: Governance of HCU space airborne isolation in RSPI Prof. Dr. Sulianti Saroso showed quite good effectiveness with the duration of disposal ranging from 27 minutes. Ventilation and disposal of airborne contaminants in the HCU room plays a vital role as a supporting instrument for controlling air contaminants in the room.

Keywords: airborne isolation, CO2 gas decay, air conditioning effectiveness

Pendahuluan

SS) memberikan pelayanan pada pasien penyakit infeksi termasuk New Emerging dan Re-Emerging. Untuk mencegah terjadinya penularan penyakit infeksi di lingkungan rumah sakit, maka penyakit infeksi yang ditransmisikan melalui udara dan atau yang belum diketahui transmisinya dirawat di ruang isolasi airborne. (1) Penyebaran kuman patogen melalui udara sangat dipengaruhi oleh sistem ventilasi, filterasi dan resirkulasi udara. Oleh karena itu, sistem tata udara di ruang isolasi airborne harus direncanakan untuk dengan benar, mengurangi kemungkinan terjadinya transmisi infeksi melalui udara dan meningkatkan kualitas udara dalam ruangan (udara bersih, jumlah oksigen cukup, tidak berbau, temperatur dan kelembaban yang memadai). (2)

RSPI Prof. Dr. Sulianti Saroso (RSPI-

Sistem ventilasi yang baik akan menjamin terjadinya pertukaran udara di dalam ruangan maupun di luar ruangan yang memadai. Pertukaran udara yang tinggi dapat menyebabkan dilusi patogen dan mengurangi risiko infeksi yang ditransmisikan melalui udara. (2) Pertukaran udara di ruang isolasi airborne direkomendasikan sebesar > 12 Air Circulating per Hour (ACH) dan ruangan bertekanan negatif. (1-6) Sistem filterasi berfungsi menyaring udara dari

partikel yang berukuran 1-5 mikron, sehingga udara yang menuju ruangan merupakan udara yang bersih dari kuman pathogen. Bila udara tersebut mengandung kuman pathogen dimungkinkan dapat terhirup oleh petugas. Petugas yang terinfeksi kuman patogen, mereka bisa menjadi sumber penularan ke petugas lain, pasien, dan anggota keluarganya. Hal ini dapat mengakibatkan kemungkinan terjadinya outbreak (KLB) penyakit infeksi yang meluas baik di lingkungan rumah sakit lingkungan tempat tinggal maupun petugas tersebut. (1)

Untuk mendapatkan jaminan keamanan kualitas udara ruangan (Indoor Air Quality/ IAQ) maka perlu dilakukan pengujian sistem tata udara. Salah satu pengujiannya dapat menggunakan gas karbon dioksida (CO₂) sebagai media pelacak dan peluruhan konsentrasi udara (CO₂ tracer and concentration decay). Gas CO₂ diasumsikan sebagai kontaminan udara, sehingga kecepatan pembuangan gas tersebut menjadi acuan seberapa baiknya sistem tata udara yang terpasang. (7-12)

Berdasarkan uraian diatas, RSPI Prof. Dr. Sulianti Saroso perlu melakukan kajian tentang efektifitas uji kontaminan melalui peluruhan gas CO₂ yang bertujuan untuk mengetahui besaran tingkat pembersihan kontaminan, pergantian udara, serta efektivitas ventilasi, filterasi dan resirkulasi udara pada sistem tata udara di ruang HCU Isolasi *Airborne* di RSPI Prof. Dr. Sulianti Saroso.

Metode

Desain studi ini adalah uji eksperimental terhadap ruang HCU isolasi airborne di RSPI Prof. Dr. Sulianti Saroso, pada tanggal 2 Oktober 2017, yang dilakukan oleh IPRS dan pihak ke III (yaitu PT Metcoindo Penta Perkasa yang menyediakan layanan engineering, construction & maintenance services). Alat dan bahan yang digunakan: Emitter/CO₂ meter analyser, tabung CO₂ kapasitas 3 Kg. Gas CO₂ yang disemburkan dari tabung ke dalam ruang HCU berkisar antara 4000 sampai dengan 6000 ppm dan tidak melebihi 10.000 ppm demi faktor keamanan. (7)(11)(13) Luas ruang HCU sebesar 52,17 m². Data dibaca oleh alat pengukur / emitter dalam tiap durasi 30 detik selama 30 menit atau sampai nilai konsentrasi CO₂ awal (baseline) tercapai. Untuk menentukan algoritma peluruhan konsentrasi CO2 digunakan analisis regresi linier sederhana. Sebelum dilakukan analisis dilakukan pengujian normalitas data menggunakan kolmogrov smirnov test.

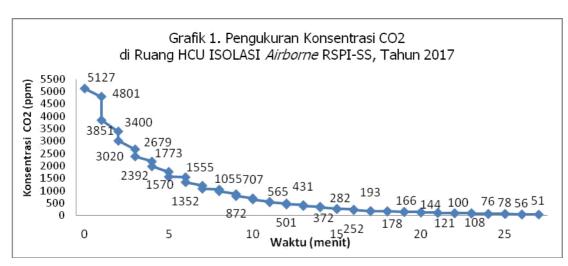
Data yang sebarannya tidak normal dilakukan transformasi menggunakan *Logaritma natural* (Ln).

Hasil

Data pengukuran besaran konsentrasi CO₂ semula/baseline adalah 51 ppm. Konsentrasi gas CO₂ yang disemburkan melalui tabung pemadam kebakaran sampai dapat mengisi seluruh ruangan dan melewati sensor *infra red* alat ukur emitter sebanyak 5127 ppm. Waktu yang dibutuhkan untuk meluruhkan konsentrasi CO₂ dari 5127 ppm menjadi besaran konsentrasi semula/baseline (51 ppm) adalah sekitar

27 menit. Pengukuran partikel CO₂ dapat dilihat pada gambar 1.

menentukan Untuk algoritma peluruhan konsentrasi CO2 digunakan analisisregresilinier.Namun, sebelumnya dilakukan pengujian normalitas data secara statistik menggunakan kolmogrov smirnov test. Hasil uji normalitas data yaitu variabel waktu berdistribusi normal sedangkan variabel konsentrasi CO2 tidak normal. Oleh karena itu, data konsentrasi CO2 dilakukan transformasi menggunakan Logaritma natural (Ln). Hasil normalitas data sebelum dan sesudah tranformasi dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Hasil Pengukuran Partikel CO₂

Tabel 1. Tabel Hasil Normalitas Data Konsentrasi CO2 dan Waktu (jam)

Pengujian	Variabel	Kolmogrov Smirnov Test			Kesimpulan	
		Statistic	df	Pvalue	-	
Sebelum	Waktu	0.064	60	0.200*	Data berdistribusi normal	
	Konsentrasi CO2	0.251	60	0.000	Data berdistribusi tidak normal	
Sesudah Tranformasi	Konsentrasi CO2	0.102	60	0.197*	Data berdistribusi normal	

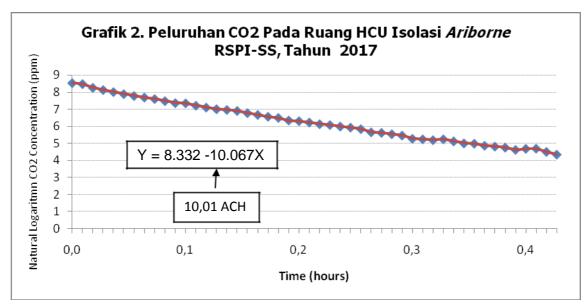
Tabel 2. Model Peluruhan CO2 (Waktu 27 Menit)

Variabel	В	Pvalue	R ²	Anova Test
Konstanta	Konstanta 8,332			
Waktu (ACH)	-10,067	0.000*	0.992	0.000*

Tabel 2 dapat dilihat nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 0,992. Hal ini berarti 99.2% variasi peluruhan CO₂ dipengaruhi oleh waktu (ACH). Sisanya sebesar 0.8% dipengaruhi oleh faktor – faktor lainnya yang tidak diteliti dalam penelitian ini. Hasil analisis didapatkan Pvalue =0.000 (< 0.05) yang artinya ada pengaruh waktu (ACH) terhadap konsentrasi CO₂. Hasil analisis tersebut dapat digambarkan pada gambar 2.

Persamaan garis regresi yang dihasilkan (Algoritma peluruhan CO₂)

adalah Y = 8.332 - 10.067X. Konstanta sebesar 8.332 menyatakan bahwa jika (ACH) mengabaikan waktu konsentrasi CO₂ adalah sebesar 8.332. Koefisien regresi X sebesar - 10.067 berarti bahwa setiap penambahan satu satuan waktu (ACH), maka akan menurunkan konsentrasi CO2 sebesar 10.067. Koefisien regresi X bertanda (-) hal ini berarti hubungan antara waktu (ACH) dengan konsentrasi CO2 negatif, yang artinya semakin lama waktu (ACH) maka semakin rendah konsentrasi CO₂.



Gambar 2. Peluruhan CO₂ Pada Ruang HCU Isolasi Dalam 27 Menit

Pembahasan

Pengujian sistem tata udara di ruang isolasi airborne RSPI-SS menggunakan gas karbon dioksida (CO₂) sebagai media pelacak dan peluruhan konsentrasi udara (CO2 tracer and Gas concentration decay). CO₂ diasumsikan sebagai kontaminan udara sehingga kecepatan pembuangan gas tersebut menjadi acuan seberapa baiknva sistem tata udara yang terpasang. Pengujian ini didasarkan pada standard ASTM E741, Standard Test Method for Determining Level of Air Change in Single Zone by Dilution of Gas Tracking. Penggunakan gas CO2 dikarenakan pada pengujian ini metodenya sederhana, mudah diukur, mudah dioperasikan, dan cukup murah serta memiliki PEL (The Permissible Exposure Limit) yang lebih tinggi

dibandingkan dengan gas SF6 (Sulfur Hexafluorida). (7-12)

Waktu yang dibutuhkan untuk meluruhkan konsentrasi CO2 sebesar 5127 ppm di kamar HCU isolasi airborne yaitu selama 27 menit 0,4 jam) dengan pergantian udara sebesar 10,1 ACH. Nilai pergantian udara di HCU masih dibawah yang dipersyaratkan sebesar > 12 ACH. Selisih ACH yang tercapai dengan yang dipersyaratkan sekitar 1,9 ACH, sehingga efektifitas ventilasi dan filterasi udara di ruang HCU ini menjadi 84,16%. Ventilasi dan pembuangan kontaminan udara oleh sistem filterasi dan tata udara pada ruang HCU berfungsi dengan cukup baik. Kontaminan di udara tetap terbuang secara sempurna dengan durasi pembuangannya lebih panjang sekitar 7 menit. Apabila pergantian udara di ruang HCU ditingkatkan

menjadi 12 ACH maka waktu yang dibutuhkan untuk membuang konsentrasi CO2 tersebut menjadi lebih cepat. Sesuai acuan pada pengujian peluruhan kontaminasi udara yang menggunakan gas CO₂, waktu yang dibutuhkan untuk meluruhkan konsentrasi CO2 sebesar kira-kira 6000 ppm pada suatu ruang tertutup dengan luas maksimal 46 m2 (500 ft2) adalah sekitar 15-20 menit dengan pertukaran udara sebesar 12 ACH. (12)

Penelitian serupa yang dilakukan oleh Boelter Yates tentang pengukuran ventilasi menggunakan gas CO₂ di ruang isolasi menunjukkan bahwa ada pengaruh waktu (ACH) terhadap konsentrasi CO₂. (11) Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Ralph Stuart, Ellen Sweet, dan Aaron Batchelder tentang efektivitas ventilasi umum di laboratorium menunjukkan bahwa ada pengaruh waktu (ACH) terhadap konsentrasi CO₂. (14) Demikian juga hasil penelitian oleh Rod Escombe yang mengukur perubahan udara per jam dengan karbon dioksida bila jendela dan pintu ditutup menunjukkan bahwa ada pengaruh waktu (ACH) terhadap konsentrasi CO2 dengan persamaan garis regresi yang dihasilkan Y = -0,5X + $8.7 \text{ dan R}^2 = 0.89.^{(8)}$

Unit tata udara sebagai prasarana dirumah sakit harus memenuhi standar

pelayanan, keamanan, serta keselamatan dan kesehatan keria penyelenggaraan rumah sakit dan harus dalam keadaan terpelihara berfungsi dengan baik. Sistem ventilasi yang baik akan menjamin terjadinya pergantian udara di dalam gedung dan luar gedung yang memadai, sehingga dapat menurunkan risiko infeksi. (2)(6)

Pengoperasian dan pemeliharaan prasarana rumah sakit harus didokumentasi dan dievaluasi secara berkala dan berkesinambungan serta harus dilakukan oleh petugas yang mempunyai kompetensi di bidangnya. (15) Pemeliharaan terhadap seluruh menunjang fasilitas yang pelayanan kesehatan di rumah sakit sarana, prasarana dan peralatan) agar selalu berada dalam keadaan laik pakai menjadi tanggung jawab IPSRS. Dengan pemeliharaan yang baik, maka diharapkan life time dari suatu peralatan akan menjadi lebih panjang.

Untuk mencapai efisiensi ventilasi dan filterasi yang sempurna (100%), maka harus dilakukan perbaikan dan penyesuaian (*adjustment*) yang bersifat minor pada sistem tata udara di ruang isolasi *airborne*. Dua hal utama yang dapat meningkatkan nilai ACH dan prestasi kerja unit tata udara :⁽¹²⁾

a. Melakukan pemeriksaan dan penggantian filter Pre, Medium,

- HEPA) pada Recircullation Air Handling Unit R-AHU) dan Exhaust fan secara berkala agar udara yang diekstraksi dan dipasok kembali ke ruangan menjadi meningkat.
- b. Menaikkan putaran motor blower pada exhaust system melalui adjustment pada setting program Controller/DDC. Dengan naiknya putaran motor blower maka akan meningkat-kan jumlah udara yang dibuang dari ruangan sehingga nilai pergantian udaranya juga akan meningkat.

Kesimpulan

Besaran tingkat pembersihan kontaminan udara di ruang HCU isolasi airborne RSPI Prof. Dr. Sulianti Saroso menunjukkan hasil yang cukup baik dengan durasi pembuangan berkisar 27 menit dan pergantian udara sebesar 10,01 ACH, yang berarti bahwa efektivitas ventilasi, filterasi dan resirkulasi udara sebesar 84,16%.

Saran

Pengukuran dan pemeriksaan sistem tata udara perlu dilakukan secara berkala untuk mengetahui kondisi ventilasi dan kebocoran udara pada suatu ruangan khususnya ruangan isolasi airborne, agar kualitas udara dalam ruangan tetap memenuhi persyaratan teknis dan kesehatan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Utama beserta seluruh jajaran Direksi RSPI-SS atas izin dan dukungan yang diberikan kepada tim kajian dan juga kepada semua pihak yang berkonstribusi dalam kajian ini.

Daftar Pustaka

- Pedoman Tatalaksana Klinis Flu Burung (H5N1) di Rumah Sakit. Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.933/Menkes/ SK/VII/2010.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Pedoman Teknis Bangunan dan Prasarana Fasilitas Pelayanan Kesehatan Tingkat Pertama Untuk Mencegah Infeksi Yang Ditransmisikan Melalui Udara (Airborne Infection) [Internet]. 2014. Available from: http://cwmbc.co.id/ reportc3/2014/Doc. 3.1.2-KSDA-TR-2014 Pedoman **Teknis** Pengembangan PES Jasling Air.pdf
- WHO. Pencegahan dan Pengendalian Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) yang Cenderung Menjadi Epidemi dan Pandemi di Fasilitas Pelayanan Kesehatan. 2007; Available from: http://apps.who.int/iris/bitstream/106 65/69707/14/WHO_CDS_EPR_200 7.6 ind.pdf

- 4. United States of America. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) - Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee. Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities. US Dep Heal Hum Serv Centers Dis Control Prev Atlanta, GA 30329 [Internet]. 2003;(2003):126-31. Available from: https://www.cdc.gov/infection control/pdf/guidelines/environmental -guidelines.pdf%0Ahttps://www. cdc.gov/vhf/ebola/healthcareus/hospitals/infection-control.html %0Ahttps://www.cdc.gov/vhf/ebola/ healthcare-us/cleaning/hospitals. html%0Ahttps://www.cdc.gov/vhf
- ASHRAE (American Society of Heating, Refirgeration and AE).
 Design Manual for Hospitals and Clinics. 2013.
- 6. KementerianKesehatanRI.

 Peraturan Menteri Kesehatan
 Nomor 27 Tahun 2017 tentang
 Pedoman Pencegahan Dan
 Pengendalian Infeksi Di Fasilitas
 Pelayanan Kesehatan. 2017;1–172.
 Available from: http://hukor.kemkes.
 go.id/uploads/produk_hukum/PMK_
 No._27_ttg_Pedoman_Pencegahan
 _dan_Pengendalian_Infeksi_di_FA
 SYANKES_.pdf

- Pressurization F. Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a. Time. 2009;00(Reapproved 2006):1–17.
- Manzeis R, K S, V L, J P. Measuring Air Changes per Hour with Carbon Dioxide. Crit Care Med. 2000;1:1–11.
- American Society for Testing and Materials International. ASTM E 741 Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a. Vol. 00, ASTM International Standard. 2008. p. 1– 17.
- Laussmann D, Helm D. Air Change Measurements Using Tracer Gases. Chem Emiss Control Radioact Pollut Indoor Air Qual. 2004;365–404.
- 11. Simmons C, Boelter F, Crawford G. Using Carbon Dioxide as a Tracer Gas to Measure Air Change Rate in a Single Zone. AlHce 2004 [Internet]. 2004;48–48. Available from: http://link.aip.org/link/AIHPRO/v2004/i1/p48/s1&Agg=doi
- 12. PT. Metcoindo Penta Perkasa. Laporan Pengujian Kontaminasi Udara Melalui Peluruhan CO2 Di Ruang HCU RSPI. Prof. Dr. Sulianti Saroso. 2017.

- 13. Taharica Group. Manajemen Karbon Dioksida Dalam Ruangan (Indoor) Gedung Dan Bangunan. 2018.
- 14. Stuart BR, Sweet E, Batchelder A. Assessing general ventilation effectiveness in the laboratory. J Chem Heal Saf [Internet]. 2014;1–6. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.jchas.2014.10.001
- 15. Kementerian Kesehatan RI. Direktorat Jenderal Pelayanan Medik. Pedoman Operasional dan Pemeliharaan Peralatan Kesehatan. p. 2001.